УДК: 621.311 https://doi.org/10.15407/jai2024.01.018

О. І. Стасюк
Інститут проблем штучного інтелекту МОН України і НАН України, Україна
пр. Академіка Глушкова, 40, м. Київ, 03187
ostasuk177@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2889-2288

ПРИНЦИПИ ВІДОБРАЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМП’ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ ОПТИМІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Анотація. Проведено аналіз проблеми інноваційного перетворення розподілених енергетичних систем на основі методів інтелектуалізації швидкопротікаючих технологічних процесів. Запропоновано методологію відображення інноваційних математичних моделей штучного інтелекту в інтелектуальних комп'ютерних мережах. Розроблено сукупність принципів формування інтелектуальних математичних моделей підвищеної складності та розмірності. Наведено способи створення пізнавальних моделей та методів імітації творчої діяльності для виявлення та формування нових знань. Запропоновано низку диференціальних математичних моделей та методів в сфері диференціальних зображень, сукупності завдань спектрального та кореляційного аналізу аномальних процесів, які традиційно відносяться до класу творчих.

Ключові слова. Моделі, методологія, принципи, інтелектуалізація, диференційні перетворення, оптимізація, процес, нові знання, інформативність, аналіз, інтелект.

O. Stasiuk
Institute of Artificial Intelligence Problems of the Ministry of Education and Science of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine
Academik Glushkov Avenue, 40, Kyiv, 03187
ostasuk177@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-2889-2288

PRINCIPLES OF REPRESENTATION OF INNOVATIVE MODELS OF PIECE INTELLIGENCE IN INTELLIGENT COMPUTER MEASURES FOR ENERGY SYSTEMS

Abstract. An analysis of the problem of innovative redesign of distributed energy systems based on the methods of piece intelligence for the intelligentization of fluid technological processes has been carried out. The methodology for representing innovative mathematical models to human intelligence in intelligent computer systems has been proposed. The set of principles for the formation of intelligent mathematical models of advanced intellectual complexity and dimension for. Methods for creating cognitive models and methods for simulating creative activity for identifying and forming new knowledge have been suggested. A number of differential mathematical models and methods for the development, in the field of differential images, of the totality of spectral and correlation analysis of anomalous processes, which are traditionally assigned to the creative class, have been proposed. Bible.8.

Keywords: Models, methodology, principles, intelligence, differential transformation, optimization, process, new knowledge, information content, analysis, intelligence.

Вступ

Сучасні тенденції наукових досліджень у сфері розвитку світової енергетики шляхом інноваційно-інвестиційного перетворення складних енергетичних об’єктів і систем тісно пов'язані з їх інтелектуалізацією, що базується на моделях і методах штучного інтелекту і загальновизнаних у світі SMART Grid-технологіях, а також принципах самовідновлення, саморегуляції єдиного інформаційного простору, що у сукупності представляє самоконтролюючу, аналізуючу та звітуючу інтелектуальну технологію [1-3]. Дослідження ключових напрямів еволюції інноваційного

перетворення енергетичних об’єктів для вирішення комплексної проблеми оптимізації функціонування, створення енергозберігаючих технологій та надійності роботи можливе тільки шляхом інтелектуалізації швидкоплинних технологічних процесів [2,4]. Цей факт стимулював широкий спектр досліджень, орієнтованих на використання надвисокої продуктивності обчислень та методів штучного інтелекту, а також інших переваг сучасних комп'ютерних засобів при дослідженні штатних, аномальних та аварійних режимів розподілених енергетичних систем підвищеної складності з метою виявлення та формування нових знань у прикладній галузі та реалізації на їх основі синтезу спеціальних математичних моделей, методів та алгоритмів для оптимізації функціонування, створення більш ефективних енергозберігаючих технологій та вирішення поточних питань.

Організація інтелектуальних систем на основі штучного інтелекту базується на результатах фундаментальних та прикладних досліджень у галузі математичного та комп'ютерного моделювання, для управління складними фізичними об'єктами, процесами та явищами, а концептуально – на використанні моделей штучного інтелекту для моделювання розумної поведінки людини, баз знань та подій, орієнтованих на виявлення нових спеціальних знань для генерації адаптивних алгоритмів розв'язання прикладних завдань, які погано формалізуються, в умовах не повністю структурованих та слабоструктурованих інформаційних даних. Вважається перспективним напрямок, що базується на створенні нової інноваційної моделі, в якій відображаються інтеграція сучасних наукових, інженерних та організаційних рішень у сфері комп'ютерних, мережевих та інтелектуальних технологій, включаючи результати взаємоінтеграції топології енергетичного об’єкта та архітектури інтелектуальної комп'ютерної мережі, що здатні вирішувати комплекс завдань, які традиційно відносяться до класу творчих [5, 6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що основною проблемою інноваційного перетворення складних енергетичних об’єктів з метою оптимізації функціонування є розробка на основі методології штучного інтелекту інноваційних методів інтелектуальної обробки інформації та створення на їх основі інтелектуальних комп'ютерних мереж управління швидкоплинними технологічними процесами. Для оптимізації і відображення аномальних і аварійних режимів, що протікають в складних розподілених енергетичних системах домінуючими в інтелектуальних комп'ютерних системах повинні бути використані методи штучного інтелекту, орієнтовані на реєстрацію та формування нових знань в предметній області. У зв'язку з викладеним, поняття «інтелектуальна комп’ютерна мережа» може бути сформульовано наступим чином: **визначення** «Інтелектуальна комп'ютерна мережа оптимізації швидкоплинних технологічних процесів, що протікають в складних, розподілених енергетичних системах - це система, що спроможна виконувати деяку сукупність операцій, властивих творчій діяльності людини, включаючи комплекс завдань, які традиційно відносяться до класу творчих шляхом імітації творчої діяльності для виявлення та формування нових знань в предметній області».

При такому підході архітектура інтелектуальної інформаційно-аналітичної комп'ютерної мережі управління може включати сегмент аналітичних моделей, блок самоорганізації, блок адаптації, сегмент аналізу та прогнозу ситуацій, підсистеми штучного інтелекту, нечіткі підсистеми управління, нейронні мережі, підсистеми на базі генетичних алгоритмів, підсистеми формування нових знань та управлінських рішень на основі ситуації, що складається в даний момент часу, а також підсистему, наділену здатністю моделювати творчі процесі, розуміти, міркувати і вивчати режими функціонування в умовах постійно змінного внутрішнього і зовнішнього середовища. Недостатньо дослідженою

частиною загальної проблеми інноваційного перетворення складних енергетичних систем є також необхідність в розробці та застосуванні методів штучного інтелекту і унікальних комп'ютерних компонентів для визначення повної глибини інформативності первинних даних на основі сучасних технологій синхронних векторних вимірювань та формування на їх основі єдиного інформаційного простору. До невирішеної проблеми також можна віднести відсутність загальносистемної методології відображення в інтелектуальній комп'ютерній системі взаємно інтегрованих інтелектуальних ресурсів управління, включаючи дослідницький та диспетчерський персонал, та сучасних можливостей, розподілених комп'ютерних систем, мереж і інтелектуальних технологій [7]. Завдяки такому підходу відкриваються нові напрями організації інтелектуальних енергетичних систем та суттєво розширюються ринкові можливості шляхом надання широкого спектру взаємних послуг між суб'єктами ринку та інфраструктурою.

Мета та завдання дослідження
Метою роботи є розробка принципів відображення інноваційних моделей штучного інтелекту в інтелектуальних комп'ютерних мережах керування швидкоплинними технологічними процесами, що протікають у складних енергетичних системах як теоретичної основи синтезу математичних моделей підвищеної інтелектуальної складності та розмірності для визначення вичерпної інформативності стохастичних первинних даних, проведення детального комп'ютерного аналізу та, ґрунтуючись на можливості використання практично необмеженої продуктивності розподілених обчислень, створення пізнавальних моделей та методів імітації творчої діяльності для виявлення та формування нових знань, як основи створення інтелектуальних технологій оптимізації, енергозбереження, формування управлінських рішень та реалізації стратегічних функцій та цілей.

Матеріали та методи дослідження
Проведення детального комп'ютерного аналізу функціонування розподілених енергетичних мереж, об'єктів та довкілля базується на створенні комплексу інноваційних пізнавальних моделей імітації творчої діяльності як основи формування перспективних інтелектуальних технологій. Концептуальною базою створення інноваційних моделей є необхідність у спільному та узгодженому вирішенні глобальних завдань підвищеної складності та розмірності, таких як інтелектуальний аналіз результатів всережимного комп'ютерного моніторингу енергетичних об'єктів, включаючи ретроспективу, динамічну діагностику, оцінку інтегрального стану та прогноз надійності їх функцій. Незважаючи на відносну автономність цих завдань, вони перебувають у системній єдності та взаємозалежності одне з одним. Враховуючи найрізноманітніші зв'язки між подіями, що з'являються в енергетичних системах, а також велику швидкість протікання основних технологічних процесів, для формування принципів відображення інноваційних моделей штучного інтелекту в інтелектуальних комп'ютерних мережах, використовуються перспективні напрямки, пов'язані з інтеграцією інтелектуальних комп'ютерно-орієнтованих методів моделювання вищезазначених глобальних завдань. Інноваційне перетворення енергетичних систем стало можливим завдяки впровадженню нових напрямків штучного інтелекту: проведення досліджень, визначення вичерпної динаміки аномальних та перехідних процесів енергосистем шляхом синхронного вимірювання в різних точках мережі частот, амплітуд, фаз, напруг, струмів, виявлення джерел низькочастотних коливань, їх типів та місць виникнення, особливостей, форм та характеристик аномальних режимів, а також визначення меж поточної стійкості енергосистеми. Зареєстрована таким чином первинна

інформація використовується для дослідження на якісно новому рівні властивостей та динамічних характеристик технологічних процесів, що швидко протікають в енергосистемах і є основою формування нових знань у енергетиці. Технологія сучасних синхронних векторних вимірювань сприяла розширенню концепції «інтелектуальної енергетики» як основи інноваційного перетворення енергетичних мереж та створення інтелектуальних систем нового покоління, які орієнтовані на формування та накопичення нових знань в предметній області для створення сучасних технологій функціонування. Нові досягнення у сфері комп'ютерних, інтелектуальних та телекомунікаційних технологій, на сьогодні, дозволили забезпечити, в реальному часі, управління режимами функціонування електроенергетичних об'єктів та систем, а також кількісне та якісне спостереження параметрів режимів, що швидко змінюються. Це підтверджується, насамперед, тим, що синхронні вимірювання всієї сукупності параметрів енергосистеми, зареєстровані у процесі проведення слизького комп'ютерного моніторингу, відкрили можливість значно поліпшити інформативність первинних даних, що відображають аномальні чи перехідні режими.

Пропонуємо методологію відображення інноваційних моделей штучного інтелекту в інтелектуальних комп’ютерних мережах оптимізації швидкоплинних технологічних процесів, що протікають в складних, розподілених енергетичних системах та сформулюємо сукупність принципів їх формування (рис.1).

Принцип відображення в інтелектуальних системах взаємної інтеграції інтелектуальних ресурсів управління та сучасних можливостей комп'ютерного середовища.

Є домінуючий або основний принцип відображення в інтелектуальних системах взаємної інтеграції інтелектуальних ресурсів управління, включаючи дослідницький та оперативно-диспетчерський персонал, та сучасних можливостей розподілених комп'ютерних мереж і інформаційних інтелектуальних технологій з точки зору використання надмірної продуктивності розподілених обчислень.

В процесі дослідження динамічних характеристик складних енергетичних об'єктів головним для формування нових знань є визначення вичерпної інформативності первинних даних, отриманих з виходів датчиків. В зв’язку з чим наступний принцип організації інтелектуальних комп'ютерних систем може бути сформульований так: «**Принцип формування інтелектуального інформаційного простору**».

Сучасні технології синхронних векторних вимірювань та методи визначення вичерпної інформативності первинних даних, що відображають аномальні та штатні режими, які протікають в розподілених енергетичних системах, є базисом організації єдиного інтелектуального інформаційного простору, функціонуючого з єдиних загальносистемних позицій.



Рис.1. Організація відображення інноваційних моделей штучного інтелекту в інтелектуальних комп’ютерних мережах

Принцип взаємодії інтелектуальної системи з енергетичними об'єктами та зовнішнім середовищем є основою організації сукупності інтелектуальних інноваційних моделей підвищеної інтелектуальної складності та розмірності, наприклад, моделі штучного інтелекту, моделі нечіткої логіки, моделі інтелектуальних нейронних мереж, моделі генетичних алгоритмів та інших. У синтезованих моделях завдяки суттєво уточненому опису процесів функціонування енергосистеми відкривається можливість не лише отримання додаткових знань про досліджуваний об'єкт та зовнішній світ, а також і динаміку зміни їх стану в результаті реалізації активної поведінки інтелектуальної комп’ютерної мережі.

Принцип глибокої взаємної інтеграції архітектури комп'ютерного середовища та топології енергетичного об'єкта. Глибока взаємна інтеграція архітектури інтелектуального комп'ютерного середовища та топології розподіленої енергетичної системи організується на сукупності сегментів аналітичних моделей, сегментів адаптації інтелектуальної комп’ютерної системи, сегментів аналізу і прогнозу режимів функціонування енергосистеми та сегменту самоорганізації. Завдяки використанню в інтелектуальному комп'ютерному середовищі бази знань та подій, інтелектуального інтерфейсу і інноваційних технологій, вони утворюють нову якість у сфері формування знань, моделювання творчих процесів та формування управлінських рішень.

На основі наведених принципів організація інтелектуальних комп'ютерних мереж управління та оптимізація енергетичних систем може бути реалізована наступним чином. Ґрунтуючись на перших трьох принципах і отриманні повної інформативності багатоаспектної первинної інформації, формується ряд інтелектуальних математичних моделей підвищеної складності та розмірності, які відкривають можливість моделювати ряд операцій, що відносяться до класу творчих. Аналогічно формується математична модель високої інтелектуальної складності та розмірності для оцінки динаміки зовнішнього середовища, з метою визначення його впливу на об'єкт, а також реалізації прогнозу функціонування для оптимізації раціональних тактичних та стратегічних поведінок. Використання принципу взаємодії енергетичної системи із зовнішнім середовищем дозволяє організувати канал визначення додаткових знань, як основи визначення доцільної поведінки і прогнозу режиму роботи енергосистеми. Дуже важливим є також застосування третього принципу для організації аналогічних математичних моделей, як основи формування єдиного інтелектуального інформаційного простору з загальносистемних позицій. Сукупність зареєстрованих первинних даних буде мати вичерпну інформативність безпосередньо виміряних напруг, струмів, частот, амплітуд, фаз і температур у різних точках та сегментах системи в процесі дослідження та аналізу аномальних та перехідних процесів. Математичні моделі високої інтелектуальної складності та розмірності є базою синтезу інтелектуальних комп'ютерно орієнтованих алгоритмів обробки інформації на основі використання методів штучного інтелекту, нечіткої логіки, генетичних алгоритмів, включаючи інтелектуальні нейронні мережі. На основі розглянутих процедур, в основі синтезу інтелектуального комп'ютерного середовища застосовується принцип глибокої взаємоінтеграції архітектури комп'ютерного середовища та топології енергетичного об'єкта. Синтезоване таким чином інтелектуальне комп'ютерне середовище включає інтелектуальний інтерфейс, сегменти аналітичних моделей, адаптації, аналізу та прогнозу, а також сегменти самоорганізації і моделювання творчих процесів для формування нових знань. В процесі отримання первинної інформації від енергетичного об'єкта та зовнішнього середовища і визначення її вичерпної інформативності, у інтелектуальному комп'ютерному середовищі, на основі бази знань та подій, включаючи процедури моделювання операцій, які відносяться до класу творчих, реалізується формування нових знань в предметній області. Актуальність та перспективність такого підходу пов'язана з необхідністю проведення додаткових досліджень та пошуку нових шляхів оптимізації функціонування енергосистем і створення інтелектуальних енергозберігаючих технологій.

Інтелектуальні моделі і методи синхронних векторних вимірів

Сучасні технології синхронних векторних вимірювань є одним з напрямків удосконалення енергосистем, що найбільше обговорюються. Проблема інноваційного перетворення систем потребує нових організаційних, наукових та інженерних рішень у сфері штучного інтелекту, інформаційних, інтелектуальних та мережевих технологій для оптимізації витрат, покращення рівня надійності і якості функціонування, та розширення спектра ринкових можливостей [6].

Широке поширення системи супутникової навігації GPS відкрило нові можливості проводити синхронні вимірювання сукупності параметрів у різних точках і сегментах топології енергомережі та реєструвати значення кутів, напруг і струмів із жорсткою прив'язкою до часу. Цей факт відкриває можливість отримати якісно новий рівень знань про властивості системи та процеси, що в ній протікають [1,7].

Кожен із усієї сукупності первинних параметрів, наприклад, електромережі, представляє миттєві значення струмів та

напруги прямої, зворотної та нульової послідовностей, включаючи окремі їх гармонійні складові, а також значення фазових кутів у різних вузлах та сегментах, швидкість їх зміни, коефіцієнти несиметричності та несинусоїдальної напруги, синхронно зареєстровані в різних точках електромережі, які позначимо

$$\{x_j(t_i)\} \in G_j^{t_i} \neq \emptyset.$$

При цьому вважатимемо, що для кожного *j*^го^ параметра $x_j(t_i)$ електромережі (*j*^го^*=1,2,..m)*, у обрані моменти часу t_i $(i = 1, 2, .. n)$, послідовно реалізується синхронна реєстрація i ^го^ миттєвого значення. Тоді сукупність параметрів режиму може бути представлена у вигляді вектора виду

$$X_j^i = (x_j(t_i),\ \tau_j^i,\ z_\text{r})^t,$$

(i = 1,2,.. n), (j=1,2,..m), (r = 1, 2, ..s),

де $x_j(t_i)$- миттєве значення *j*^го^ параметра; τ_j^i - величина, яка характеризує синхронність вимірювань параметрів $x_j(t_i)$ у різних *j*^х^ вузлах мережі електропостачання; z_r - значення r^го^ сегмента топології мережі електропостачання. Подібне представлення синхронних вимірювань сукупності первинних параметрів відкриває можливість формувати первинну інформацію у вигляді єдиного інформаційного простору із загальносистемних позицій у вигляді

$$\{X_j^i\} \in G_j^i \neq \emptyset, G^\Theta = \cup_{j=1}^m G_j^i \neq \emptyset \qquad (1)$$

$$X_j^i = (x_j(t_i),\ \tau_j^i,\ z_\text{r})^t,\ (i = 1,2,..n),$$

(j=1,2,..m),

(r = 1,2,..s)

Отримані первинні дані, зареєстровані на основі синхронних векторних вимірювань і сформовані у вигляді єдиного інформаційного простору, використовуємо для синтезу інтелектуальних математичних моделей, орієнтованих для визначення їхньої повної інформативності.

Інтелектуальні диференціальні математичні моделі визначення усієї глибини інформативності багато-аспектної первинної інформації

Для синтезу подібних математичних моделей, які відкривають можливість суттєво розширити технології розподілених синхронізованих векторних вимірювань в енергетиці, використовуємо сучасні методи диференціальних перетворень Пухова [8], які представлені наступною парою математичних виразів у вигляді

$$X_j^i(k) = \frac{H^k}{k!}\left[\frac{d^k x_j(t_i)}{dt^k}\right]_{t_i} \risingdotseq x_j(t_i) = \sum_{k=0}^{k=\infty}\left(\frac{t}{H}\right)^k X_j^i(k), \qquad (2)$$

де $x_j(t_i)$ - первісна функція аргументу, яку можна n разів диференціювати і яка має низку відповідних обмежень, включаючи свої похідні; $X_j^i(k)$ – диференціальне Т-зображення первісної функції $x_j(t_i)$; H - масштабний коефіцієнт, розмірність якого збігається з розмірністю аргументу t, як правило, вибирається на умовах $0 \le t \le H$ на всьому діапазоні функції оригіналу $x_j(t_i)$; $\risingdotseq$ - символ відповідності між функцією-оригіналом $x_j(t_i)$ та його диференціальним T – зображенням $X_j^i(k)$.

Завдяки прямому диференціальному перетворенню, яке знаходиться ліворуч від символу $\risingdotseq$, формується диференціальне T-зображення функції - оригіналу $x_j(t_i)$ у вигляді дискретної функції $X_j^i(k)$ цілого аргументу k = 0,1,2,.... На основі сукупності значень T-дискрет функції цілісного аргументу $X_j^i(k)$, k =0,1,2,... зазначимо, що при k =0, згідно (2), для будь-якого миттєвого значення t_i кожного *j*^го^ параметра $x_j(t_i)$ виконується рівність $x_j(t_i) = X_j^i(0)$. Завдяки цьому, на базі $x_j(t_i) = \sum_{k=0}^{k=\infty}\left(\frac{t}{H}\right)^k X_j^i(k)$ сформуємо систему рівнянь алгебри n^го^ порядка, що можна записати у вигляді

$$\frac{t_1}{H}X_j^i(1) + \left(\frac{t_1}{H}\right)^2 X_j^i \quad (2) + \left(\frac{t_1}{H}\right)^3 X_j^i(3) + .. + \left(\frac{t_1}{H}\right)^n X_j^i(n) = x_j(t_i) - X_j^i(0)$$

$$\frac{t_2}{H}X_j^i(1)+\left(\frac{t_2}{H}\right)^2 X_j^i(2)+\left(\frac{t_2}{H}\right)^3 X_j^i(3)+..+\left(\frac{t_2}{H}\right)^n X_j^i(n)=x_j(t_{i+1})-X_j^i(0) \qquad (3)$$

$$\frac{t_n}{H}X_j^i(1)+\left(\frac{t_n}{H}\right)^2 X_j^i(2)+\left(\frac{t_n}{H}\right)^3 X_j^i(3)+..+\left(\frac{t_n}{H}\right)^n X_j^i(n)=x_j(t_n)-X_j^i(0).$$

$(i=1,2,..n)$, (j=1,2,..m)

Як приклад, розглянемо графік аномального режиму енергосистеми, представленого на рис. 2. а. Аномальний або аварійний процес постачання електроенергії представляється сукупністю миттєвих значень струму

$$i(t_0), i(t_1), i(t_2),..\, i(t_j),..\, i(t_m),$$

або напруги

$$u(t_0), u(t_1), u(t_2),..\, u(t_j),..\, u(t_m),$$

на всьому інтервалі нестаціонарного процесу.

Диференційне зображення аномального режиму миттєвих значень струму

$$i(t_0), i(t_1), i(t_2),..\, i(t_j),..\, i(t_m),$$

після виконання сукупності перетворень (2),(3) представляться таким чином $I_0(0), I_0(1), I_0(2), I_0(3), I_0(4)$ … На основі прямого диференціального перетворення

$$I_0(k)=\frac{H^k}{K!}\left[\frac{d^k i(t)}{dt^k}\right]_{t=t_0},$$

згідно з виразом (2), мають місце наступні рівності

$$i(t_0)=I_0(0),\ i(t_1)=I_1(0),\ ..\ i(t_j)=I_j(0),\ ..\ i(t_m)=I_m(0),$$

використовуючи які і, розв'язавши систему рівнянь алгебри (3) для випадку $j=0$, отримаємо наступну сукупність *T*-дискрет функції цілочисельного аргументу, що являють собою зображення $i(t_0)$ в точці (t_0), як показано на рис. 2 б.

Диференційне зображення аномального режиму миттєвих значень струму

$$i(t_0), i(t_1), i(t_2),..\, i(t_j),..\, i(t_m),$$

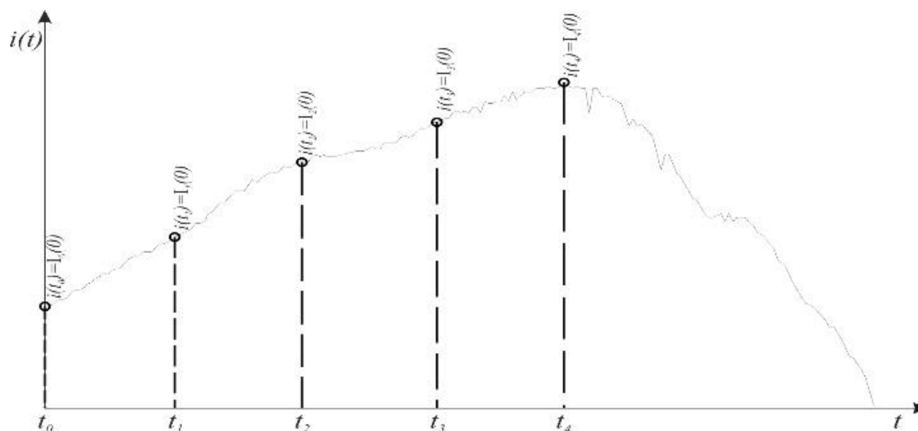
після виконання сукупності перетворень (2), (3) надаються таким чином

$$I_0(0), I_0(1), I_0(2), I_0(3), I_0(4)\ldots .$$

На основі аналізу отриманих результатів

$$I_0(0), I_0(1), I_0(2), I_0(3), I_0(4)$$

можна звернути увагу на те, що функція $i(t)$ (рис. 2. б) є не тільки величиною її миттєвого значення $i(t_0)=I_0(0)$, а й сукупністю *T*-дискрет, $I_0(1), I_0(2),..\, I_0(k)$, кожна k з яких еквівалентна k похідної функції $i(t)$ в цій же точці t_0.



а)

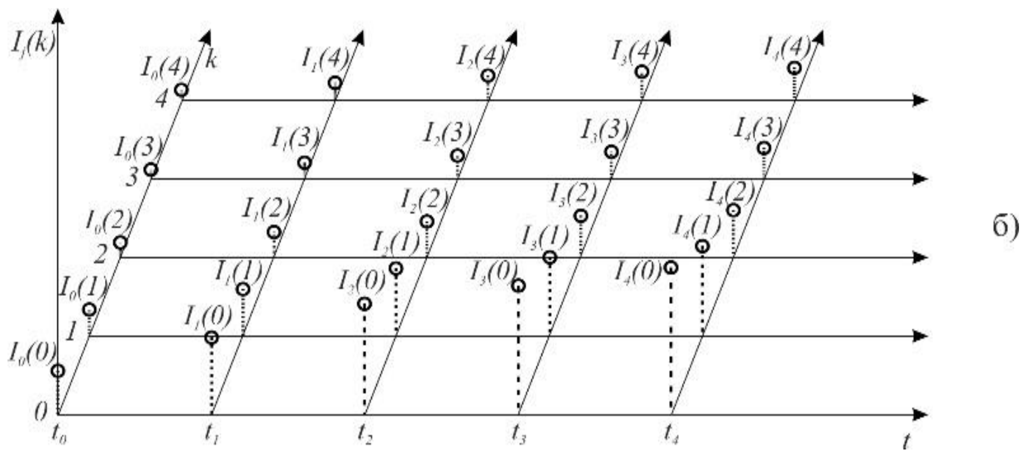


Рис. 2. Аномальний режим а. Диференціальне зображення аномального режиму б.

Таким чином, повна інформативність зареєстрованих первинних даних визначається завдяки тому, що при їх обробці відповідно до (2), (3) використовуються не тільки миттєві значення $i(t_0) = I_0(0)$ параметрів у точках t_j, а також значення n похідних у цих же точках.

Подібна процедура інтелектуалізації процесів визначення повної інформативності параметрів режимів енергетичних мереж дозволяє ліквідувати дефіцит зареєстрованої первинної інформації, що відображає швидкоплинні технологічні процеси та є основою формування та накопичення нових знань у сфері оптимізації та енергозбереженні.

У загальному випадку, вирішивши систему рівнянь (3), отримаємо для всіх миттєвих значень t_i кожного $j^{го}$ параметра $x_j(t_i)$ сукупність *T*-дискрет $x_j(t_i) = X_j^i(0)$, $X_j^i(1)$, $X_j^i(2)$, $X_j^i(3), ..$ $X_j^i(n)$.

Проаналізувавши отримані результати $X_j^i(k)$, $(i = 1,2,..n)$, (j=1,2,..m), можна звернути увагу на те, що в результаті проведених обчислень згідно (2), (3) вектор

$$X_j^i = (x_j(t_i),\ \tau_j^i,\ z_{\mathrm{r}})^t,$$

враховуючи $X_j^i(0) = x_j(t_i)$, може бути представлений наступним чином

$$X_{pj}^i = (X_j^i(0),\ \ X_j^i(1),\ X_j^i(2),..X_j^i(n),\ \tau_j^i,\ z_{\mathrm{r}})^t, \quad (4)$$

$$(i = 1,2,..n),\ \ (j=1,2,..m),\ (r = 1,2,..s),$$

що стало можливим завдяки сформованим математичним моделям (1) – (4). При такому підході величина $j^{го}$ параметра $x_j(t_i)$ в кожній $i^{й}$ точці

$$X_j^i = \left(x_j(t_i),\ \tau_j^i,\ z_r\right)^t$$

представляється не тільки його миттєвим значенням у цій же точці, а також додатково і сукупністю *T*-дискрет

$$X_j^i(1),\quad X_j^i(2),..X_j^i(n),$$

кожна k^a з яких *(k=1,2,.. n)* еквівалентна $k^{й}$ похідної $j^{го}$ параметру $x_j(t_i)$ у точці t_i. Таким чином, повна інформативності зареєстрованих первинних даних

$$X_{pj}^i = (X_j^i(0),\ X_j^i(1),\quad X_j^i(2),..X_j^i(n),\ \tau_j^i,\ z_r)^t$$

визначається завдяки тому, що при їх обробці використовуються не тільки миттєві значення параметрів у точках t_i, а також і значення n похідних у цих точках.

Подібний підхід дозволяє ліквідувати дефіцит інформації про швидкоплинні електромеханічні перехідні процеси, які є дуже важливими при проведенні дослідження та адекватного аналізу динамічних особливостей енергетичних мереж та визначення їх стану, коливання потужності, навантажень, місць аварійного режиму та сукупності інших параметрів.

Інтелектуальні диференціальні моделі підвищеної інтелектуальної складності та розмірності для аналізу та моделювання завдань, що традиційно відносяться до класу творчих

На основі отриманих результатів синхронних векторних вимірів сукупності стохастичних процесів, що відображають штатний або аномальний режими

енергосистеми, представлених у вигляді векторів

$$X_{pj}^{i} = (X_j^i(0),\ X_j^i(1),\ X_j^i(2),..X_j^i(n),\ \tau_j^i,\ z_r)^t,$$

сформуємо ряд диференціальних математичних моделей підвищеної інтелектуальної складності та розмірності, орієнтованих на отримання нових знань у процесі проведення інтелектуального аналізу перехідних швидкоплинних процесів. Дослідження аномальних та аварійних режимів, що протікають у системах, показали, що великий вплив на надійність роботи інтелектуальних комп'ютерних систем управління мають перешкоди, викликані окремими гармонійними складовими аварійного процесу. У зв'язку з цим, диференціальні зображення зареєстрованих первинних даних значень струмів $i(t)$ на основі реалізації процедур (2), (3), подаються у вигляді

$$I_j(0), I_j(1),..I_j(k),..I_j(n)$$

і використовуються для обчислення окремих гармонійних складових аварійного режиму в кожній $j^й$ точці аварійного процесу. Пряме перетворення Фур'є на кінцевому проміжку *(0,T)* представляється як

$$\dot{I}_\gamma = \frac{j^2}{T}\int_0^T e^{-j\gamma\omega t} i(t)\,dt\,, \quad (5)$$

де $\dot{I}_\gamma$ – комплексна амплітуда гармоніки струму; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ - частоти основної гармоніки; $j^2 = -1$.

Скористайтеся відповідно до (2) зворотним диференціальним перетворенням

$$i(t_j) = \sum_{k=0}^{k=\infty}\left(\frac{t}{H_j}\right)^k I_j(k) \text{ і запишемо}$$

$$\dot{I}_\gamma = \sum_{k=0}^{k=\infty}\frac{I_j(k)}{H_j^k}\left(\frac{j^2}{T}\int_0^T t^k e^{-j\gamma\omega t}dt\right). \quad (6)$$

Значення інтеграла у виразі (6) може бути представлене наступною залежністю [6, 8]

$$\int_0^T t^k e^{-j\gamma\omega t}dt = \frac{k!(-1)^k}{(-j\gamma\omega t)^{k+1}}\left(1-\sum_{m=0}^{m=k}\frac{(-j\gamma\omega T)^m}{m!}\right). \quad (7)$$

Реалізувавши підстановку виразу (7) в (6) та виконавши відповідні перетворення, отримаємо математичну модель визначення необхідного набору комплексних амплітуд $\dot{I}_\gamma$, γ^x гармонік

$$\dot{I}_\gamma = \frac{1}{\pi\gamma}\sum_{k=0}^{k=\infty}\frac{k!}{(j\gamma\omega H_l)^k}\left[\sum_{m=0}^{m=k}\left(\frac{T}{H_j}\right)^m\frac{(-j\gamma\omega t)^m}{m!}-1\right]I_l(k) \quad (8)$$

Математична модель (8) є основною в процесі дослідження аномальних режимів, оскільки завдяки її застосуванню відкривається можливість використовувати повну поінформованість первинних даних, представлених у *T*-області виразом для формування нових знань про аномальні режими систем.

У тих випадках, коли в процесі дослідження спектральних характеристик аномальних режимів енергосистем необхідно застосувати перетворення Фур'є з нескінченними межами і обмеженнями $i(t) = 0$ при $t < 0$, що може бути записано у вигляді [6-8]

$$I(j\omega) = \int_0^\infty e^{-j\omega t} i(t)dt\,,$$

$$i(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{j\infty} e^{j\omega t} I(j\omega)\,dt\omega, \quad (9)$$

то, реалізувавши відповідні математичні перетворення, аналогічно вищеописаному, синтезуємо математичну модель визначення спектральної щільності шляхом обробки первинної інформації $I_j(0), I_j(1),..I_j(k),..I_j(n)$, представленої в Т-області

$$I(j\omega) = \sum_{k=0}^{k=\infty}\frac{k!}{(j\omega H_l)^k}\frac{I_l(k)}{j\omega},$$

$$I_j(k) = \frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{j\infty}\frac{(j\omega H_l)^k}{k!} I(j\omega)\,dj\omega. \quad (10)$$

Математичний вираз (10) дозволяє обчислювати значення спектральної щільності аварійного режиму, використовуючи для цього первинну

інформацію $I_j(0), I_j(1),..I_j(k),..I_j(n)$, яка відображає в T-області аномальні процеси, що протікають в енергосистемі, для глибокого дослідження та формування нових знань.

Розглянемо питання застосування первинної інформації

$$I_j(0), I_j(1),..I_j(k),..I_j(n),$$

поданої в T-області виразом для проведення кореляційного аналізу аномальних процесів. Обчислення взаємної кореляційної функції $R(i_s(t_l)i_f(t_{l+r}))$ двох змінних $i_s(t_l), i_f(t_{l+r})$ можна записати як

$$R\left(i_s\left(t_\xi\right)i_f\left(t_{3+r}\right)\right) = \frac{1}{N}\sum_{e=1}^{N} i_s\left(t_\xi\right)i_f\left(t_{\xi+r}\right),$$
$$s = 1,2,..n, \; f = 1,2,..N, \qquad (11)$$
$$\xi = 1,2,..P, \; r = 1,2,..m$$

Скориставшись диференціальними перетвореннями (2), запишемо вираз (8) в області зображень як

$$R_{Sf}(k) = \frac{1}{N}\sum_{\xi=1}^{N}\sum_{e=0}^{e=k} I_S^{\xi}(l) I_f^{\xi+r}(k-l) \quad (12)$$

і, застосувавши диференціальне подання первинної інформації

$$I_j(0), I_j(1),..I_j(k),..I_j(n),$$

організуємо обчислювальний процес відповідно до (12) наступним чином. При $k = 0$

$$R_{Sf}(0) = \frac{1}{N}\sum_{\xi=1}^{N} I_S^{\xi}(0) I_f^{\xi+r}(0). \quad (13)$$

Відповідно, при $k = 1$ отримаємо дискрету $R_{Sf}(1)$ в такий спосіб

$$R_{Sf}(1) = \frac{1}{N}\sum_{3=1}^{N}\left(I_S^3(0)I_f^{3+r}(1) + I_S^3(1)I_f^{3+r}(0)\right). \quad (14)$$

Аналогічно при $k = 2$, отримаємо $R_{Sf}(2)$

$$R_{Sf}(2) = \frac{1}{N}\sum_{\xi=1}^{N}\left(I_S^{\xi}(0)I_f^{\xi+r}(2) + I_S^{\xi}(1)I_f^{\xi+r}(1) + I_S^{\xi}(2)I_f^{\xi+r}(0)\right). \quad (15)$$

Після обчислення відповідної кількості дискрет $R_{Sf}(k)$, $k = 0,1,2,..$ і, застосувавши зворотне диференціальне перетворення (2), отримаємо $R\left(i_s\left(t_\xi\right)i_f\left(t_{\xi+r}\right)\right)$ в наступному вигляді:

$$R\left(i_s\left(t_\xi\right)i_f\left(t_{\xi+r}\right)\right) = R_{Sf}(0) + R_{Sf}(1)\frac{t}{H} + R_{Sf}(2)\frac{t^2}{H^2} + .. \quad (16)$$

Застосовуючи відомі положення теорії диференціальних перетворень для представлення зареєстрованої первинної інформації в області зображень у кожній $j^{й}$ точці у вигляді набору дискрет $I_j(0), I_j(1),..I_j(k),..I_j(n)$ досліджуваного аварійного процесу, можна суттєво розширити сучасні технології синхронних векторних вимірювань з точки зору визначення всієї глибини інформативності отриманих первинних даних. Крім того, на основі подання первинної інформації в галузі зображень відкриваються можливості формувати нові комп'ютерно орієнтовані методи проведення аналізу режимів функціонування енергосистем, спрямованих на формування та накопичення нових знань у цій галузі.

Висновки

1. Проведено аналіз проблеми інноваційного перетворення розподілених енергетичних систем на основі інтелектуалізації швидко протікаючих технологічних процесів, обґрунтовано напрямок наукових досліджень, що базується на застосуванні сучасних методів штучного інтелекту для формування інтелектуальних комп'ютерних мереж, здатних вирішувати комплекс завдань, які традиційно належать до традиційних.

2. Запропоновано методологію відображення інноваційних математичних моделей штучного інтелекту в інтелектуальних комп'ютерних мережах оптимізації швидкоплинних технологічних процесів, що протікають у складних розподілених енергетичних системах, орієнтованих на виявлення нових спеціальних знань в умовах неструктурованих та мінімально структурованих інформаційних даних.

3. Розроблено сукупність принципів формування математичних моделей підвищеної інтелектуальної складності та розмірності для організації синхронних векторних вимірів, визначення вичерпної інформативності стохастичної первинних даних та синтезу єдиного інформаційного

простору. Гуртуючись на можливості використання практично необмеженої продуктивності розподілених обчислень, наведено способи створення пізнавальних моделей та методів імітації творчої діяльності для виявлення та формування нових знань як основи створення інтелектуальних технологій.

4. Запропоновано низку диференціальних математичних моделей та методів підвищеної інтелектуальної складності та розмірності для вирішення в галузі диференціальних зображень сукупності завдань спектрального та кореляційного аналізу аномальних і перехідних процесів, що протікають в енергосистемах, які традиційно відносяться до класу творчих. Показано можливість визначення окремих гармонійних складових стохастичних процесів їх особливостей, що відкриває додаткові можливості для вирішення проблеми інноваційного перетворення енергетичних мереж.

Література

1.Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні. За загальною редакцією А. І. Шевченка. Видавництво «Торпеда». Київ – 2023 р. С 306.

2.Sopel, M., Stasyuk, O., Kuznetsov, V., Goncharova, L., Hubskyi, P. Regina computer system for intelligent monitoring, diagnostics, and management of railway power supply systems Diagnostyka 2021, 22(4), стр. 77–88. https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191292791

3.Stasiuk, A., Kuznetsov, V., Goncharova, L., Hubskyi, P. Models of the computer intellectualization optimal strategy of the power supply fast-flowing technological processes of the railways traction substations. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 2021, 23(2), стр. 30–36. http://komunikacie.uniza.sk/index.php/communications/article/view/1680

4.Stasiuk O.I., Goncharova L.L. Mathematical Models and Methods for Analyzing Computer Control Networks of Railway Power Supply. New Means Cybernetics, Informatics, Computers Engineering and Systems Analysis. Springer Science+Business Media New York 2018. Volume 54, Issue 1, February 2018, Pages 165-172. https://link.springer.com/article/10.1007/s10559-018-0017-0

5.Stasiuk A.I., Hryshchuk, R.V., Goncharova L.L. Mathematical differential models and methods for assessing the cybersecurity of computer networks intelligent control of technological processes of railway power supply. New Means Cybernetics, Informatics, Computers Engineering and Systems Analysis. Springer Science+Business Media New York 2018. Volume 54, Issue 4, February 2018, Pages 671-680. https://link.springer.com/article/10.1007/s10559-018-0068-2

6.Stasyuk, A.I., Lidiya L. Goncharova, Mathematical models and methods of the analysis of computer networks of control of power supply of railways traction substations L.L. Journal of Automation and Information Sciencesthis link is disabled, 2017, 49(2), стр. 50–60. https://www.dl.begellhouse.com/ru/journals/2b6239406278e43e,5bdc44c95254b2ed,779791cb12ca6912.html

7.Alexander I. Stasiuk, Lidiya L. Goncharova Mathematical Models and Methods of Formation of Intelligent Computer Networks for Control of Power Supply and Optimization of Power Consumption of Railways. Journal of Automation and Information Sciences. Begell House Inc. (США), New York, Connecticut. Volume 50, 2018 Issue 8 , pages 50-65. SCOPUS, Web of Science, ISI, INIS Atomindex, io-port.net. http://www.dl.begellhouse.com/journals/2b6239406278e43e,2ec3cf2b062398ac,5e87262e3b8eefd4.html

8.Pukhov G.E., Taylor transformations and their application in electrical engineering and electronics [in Russian], Naukova dumka, Kiev, 1978.

References

1.Stratehiia rozvytku shtuchnoho intelektu v Ukraini. Za zahalnoiu redaktsiieiu A. I. Shevchenka. Vydavnytstvo «Torpeda». Kyiv – 2023 r. S 306.

2.Sopel, M., Stasyuk, O., Kuznetsov, V., Goncharova, L., Hubskyi, P. Regina computer system for intelligent monitoring, diagnostics, and management of railway power supply systems Diagnostyka , 2021, 22(4), стр. 77–88. https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57191292791

3.Stasiuk, A., Kuznetsov, V., Goncharova, L., Hubskyi, P. Models of the computer intellectualization optimal strategy of the power supply fast-flowing technological processes of the railways traction substations. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 2021, 23(2), стр. 30–36. http://komunikacie.uniza.sk/index.php/communications/article/view/1680

4.Stasiuk O.I., Goncharova L.L. Mathematical Models and Methods for Analyzing Computer Control Networks of Railway Power Supply. New Means Cybernetics, Informatics, Computers Engineering and Systems Analysis. Springer Science+Business Media New York 2018. Volume 54, Issue 1, February 2018, Pages 165-172. https://link.springer.com/article/10.1007/s10559-018-0017-0

5.Stasiuk A.I., Hryshchuk, R.V., Goncharova L.L. Mathematical differential models and methods for assessing the cybersecurity of computer networks intelligent control of technological processes of railway power supply. New Means Cybernetics, Informatics, Computers Engineering and Systems Analysis. Springer Science+Business Media New York 2018. Volume 54, Issue 4, February 2018, Pages 671-680. https://link.springer.com/article/10.1007/s10559-018-0068-2

6.Stasyuk, A.I., Lidiya L. Goncharova, Mathematical models and methods of the analysis of computer networks of control of power supply of railways traction substations L.L. Journal of Automation and Information Sciencesthis link is disabled, 2017, 49(2), стр. 50–60. https://www.dl.begellhouse.com/ru/journals/2b6239406278e43e,5bdc44c95254b2ed,779791cb12ca6912.html

7.Alexander I. Stasiuk, Lidiya L. Goncharova Mathematical Models and Methods of Formation of Intelligent Computer Networks for Control of Power Supply and Optimization of Power Consumption of Railways. Journal of Automation and Information Sciences. Begell House Inc. (США), New York, Connecticut. Volume 50, 2018 Issue 8 , pages 50-65. SCOPUS, Web of Science, ISI, INIS Atomindex, io-port.net. http://www.dl.begellhouse.com/journals/2b6239406278e43e,2ec3cf2b062398ac,5e87262e3b8eefd4.html

8.Pukhov G.E., Taylor transformations and their application in electrical engineering and electronics [in Russian], Naukova dumka, Kiev, 1978.

The article has been sent to the editors 23.12.23.
After processing 15.01.24.
Submitted for printing 20.03.24